

明 細 書

熱処理装置及びその校正方法

技術分野

- [0001] 本発明は、半導体ウエハ等の被処理体を熱処理する熱処理装置の校正方法に関し、特に、收容している被処理体の温度を熱モデルを用いて予想し、予想結果に基づいて制御を行う熱処理装置の熱モデルを校正する方法に関する。

背景技術

- [0002] 多数の半導体ウエハに対して成膜処理、酸化処理あるいは拡散処理などの熱処理を一括して行うバッチ式熱処理装置においては、成膜すべき薄膜の種類および膜厚などに応じて、処理温度、処理圧力およびガス流量などの処理条件が決められており、これら処理条件を書き込んだレシピが用意されている。そして、各オペレータが薄膜の種類及び膜厚に応じたレシピを選択することにより、予め定められた処理条件に基づいて熱処理装置が運転される。
- [0003] 熱処理装置は、処理温度、処理圧力およびガス流量などの処理条件がレシピに定められた目標値に一致させるように制御しながら、処理を行う。これらの処理を適切に行うため、ウエハの温度、加熱炉内の圧力およびガス流量などを測定する必要がある。
- [0004] 加熱炉内の圧力は圧力計により、ガス流量は供給管に配置された流量計を含むマスフローコントローラ等により、比較的正確に測定が可能である。しかし、ウエハの温度については、測定が困難である。例えば、ウエハに温度センサを装着して加熱炉内に収納する手法も考えられるが、温度センサ装着箇所に半導体素子を形成することができず、さらに、温度センサからの不純物が加熱炉内全体を汚染し、半導体装置の歩留まりを低下させる虞がある。
- [0005] これらの問題を解決できる技術が、日本国特許公報JP2002-25997A及び米国特許US5,517,594明細書に開示されている。この技術は、加熱炉に複数の温度センサを配置し、この温度センサの出力と、ヒータへの供給電力などに基づいて、熱モデル(数学モデル)を用いてウエハの温度を刻一刻と予想し、予想値を用いて、ヒ

ータ電力を制御する技術である。この技術によれば、ウェハの温度を比較的正確に非接触で予想して、熱処理装置を制御することができる。

[0006] 上記装置の熱モデルは、以下のようにして設定される。まず、基本となる装置(基本装置)について熱モデル(基本モデル)を生成する。生成した基本モデルを、同一構造の装置に適用する。次に、基本装置と個々の装置との微妙な機差(個体差)を吸収するため、セットアップ作業を行う。この作業は、セットアップ用の成膜作業を個々の装置で行い、成膜された膜厚と目的とする膜厚との差異から熱モデルを補正し、機差によらず均一な膜、すなわち装置間で同一の厚さの膜を形成できるようにするものである。

[0007] 基本装置と個々の装置との差異は、熱に関するものだけではなく、ガスの流量やガスの圧力などについても、存在している。換言すれば、装置間では、圧力計やガス流量計の測定値のばらつきがある。

[0008] しかし、従来のセットアップ手法では、このような熱以外の要因による機差も全て熱モデルで吸収して、装置間の個体差をみかけ上なくして、装置間で同一の膜が形成されるようにしている。このようなセットアップ手法は、装置間に存在する差異点を細かく分析することなく、実質的に均一な仕様を得ることができ、非常に有効なセットアップ手法である。

[0009] しかしながら、従来のセットアップ手法では、場合により、装置の熱的な状況がかえって分かりづらくなってしまう場合があった。例えば、熱モデルで機差を吸収できないような場合には、プロセス結果のばらつき(例えば、成膜処理における膜厚のばらつき)の原因が装置のどの部分にあるのかわからなくなってしまうという問題があった。換言すれば、個々の装置の熱特性が正確には、わからなかった。

発明の開示

[0010] 本発明は、このような事情の下に成されたものであり、熱モデルを用いて被処理体の温度を予想し、予想した温度に基づいて、熱処理を行う熱処理装置において、より正確な温度の予想を可能とすることを目的とする。

また、本発明は、熱モデルを用いて被処理体の温度を予想し、予想した温度に基づいて熱処理を行う熱処理装置において、より正確な温度特性の把握を可能とする

ことを他の目的とする。

[0011] 上記目的を達成するため、この発明の第1の観点に係る熱処理装置の校正方法は

、
被処理体を収容する処理容器と複数のヒータと複数の温度センサとを備え、前記温度センサの出力から前記処理容器内の被処理体の温度を推定するための熱モデルを記憶し、前記温度センサの出力から、該熱モデルを用いて、前記処理容器内の被処理体の温度を予想し、予想した温度に基づいて前記ヒータを制御することにより、前記被処理体に熱処理を施す熱処理装置の校正方法であって、

前記ヒータを駆動して、前記処理容器内を加熱する工程と、

前記処理容器内の前記被処理体の温度を測定する工程と、

測定した前記処理容器内の温度と、前記熱モデルを用いて予想した前記被処理体の温度とを比較し、実測値に予想値が実質的に一致するように前記熱モデルを校正する工程と、

を備えることを特徴とする。

[0012] 上記の方法によれば、熱モデルをその熱処理装置に適した状態に校正することが可能となり、温度を適切に予想することができる。従って、熱処理のプロセスを適切に行うことができる。特に、熱処理装置の熱特性を根拠とする予想温度と実際の温度のずれを補正することが可能となる。結果として、例えば、プロセス結果が期待するものと異なり、プロセス中の温度変化が予想された変化に一致する場合には、その原因が熱以外の点にあることを容易に判別することができる。

[0013] 一実施形態において、前記処理容器は、複数の被処理体を収容可能であり、前記温度測定工程は、前記被処理体に隣接する温度センサを配置する工程と、配置した温度センサにより前記被処理体の温度を測定する工程を含む。

[0014] 一実施形態において、前記校正工程は、測定した温度と予想した温度とに基づいて、前記予想値の補正値を求め、予想値を前記補正値により補正するように前記熱モデルを校正する。

[0015] 一実施形態において、前記加熱工程は、前記ヒータを駆動して、前記処理容器内を複数の設定温度に順次設定し、前記温度測定工程は、各設定温度での前記処理

容器内の温度を測定し、前記温度を予想する工程は、各設定温度での前記処理容器内の温度を予想し、前記校正工程は、測定した複数の温度と予想した複数の温度とに基づいて、前記予想値の補正値を求め、前記熱モデルの予想値を前記補正値により補正するように前記熱モデルを校正する。

[0016] 一実施形態において、前記熱モデルは、前記ヒータの温度と各温度センサの温度を予想する機能を備え、前記校正工程は、前記ヒータの温度の変化量と前記温度センサの測定温度の変化量との関係と、前記ヒータに最も近接する温度センサの熱モデルによる予想温度と該温度センサの実測温度との差と、に基づいて補正値を求め、予想値を補正値に基づいて補正するように前記熱モデルを校正する。

[0017] 一実施形態において、前記処理容器内には内部ヒータが配置されており、前記熱モデルは、前記内部ヒータの温度を予想する機能を備え、前記校正工程は、前記内部ヒータの温度の変化量と前記温度センサの測定温度の変化量との関係と、前記内部ヒータに最も近接する温度センサの熱モデルによる予想温度と該温度センサの実測温度との差と、に基づいて補正値を求め、予想値を補正値に基づいて補正するように前記熱モデルを校正する、ようにしてもよい。

[0018] 一実施形態において、前記処理容器内に収容される被処理体の上部と下部には、それぞれ、第1と第2のヒータが配置され、前記熱モデルは、前記第1と第2のヒータの温度を予想する機能を備え、前記校正工程は、前記第1のヒータの温度の変化量と前記温度センサの測定温度の変化量との関係と、前記第1のヒータに最も近接する温度センサの熱モデルによる予想温度と該温度センサの実測温度との差と、に基づいて第1の補正値を求め、前記第2のヒータの温度の変化量と前記温度センサの測定温度の変化量との関係と、前記第2のヒータに最も近接する温度センサの熱モデルによる予想温度と該温度センサの実測温度との差と、に基づいて第2の補正値を求め、前記熱モデルによる予想値を第1と第2の補正値に基づいて補正するように前記熱モデルを校正する、ようにしてもよい。

上記構成の校正方法により校正された熱モデルを用いて処理容器内の温度を予想し、予想した温度に基づいて、被処理体に熱処理を施すようにしてもよい。

[0019] 上記目的を達成するため、この発明の第2の観点に係る熱処理装置は、

被処理体を収容する処理容器と複数のヒータと複数の温度センサとを備え、前記温度センサの出力から前記処理容器内の被処理体の温度を推定するための熱モデルを記憶し、前記温度センサの出力から、該熱モデルを用いて、前記処理容器内の被処理体の温度を予想し、予想した温度に基づいて前記ヒータを制御することにより、前記被処理体に熱処理を施す熱処理装置であって、

前記ヒータを駆動して、前記処理容器内を加熱する手段と、

前記処理容器内の前記被処理体の温度を測定する手段と、

測定した前記処理容器内の温度と、前記熱モデルを用いて予想した前記被処理体の温度とを比較し、実測値に予想値が実質的に一致するように前記熱モデルを校正する手段と、

を備えることを特徴とする。

本発明によれば、個々の熱処理装置の熱特性に応じて、熱モデルをカスタマイズして、その装置に適合した熱モデルを生成することが可能となる。

図面の簡単な説明

[0020] [図1]本発明の実施の形態に係る熱処理装置の構成を示す図である。

[図2]図1に示す制御部の構成を示す図である。

[図3]図2に示す熱モデル記憶部とレシピ記憶部に記憶されるデータの例を示す図である。

[図4]セットアップレシピの例を示す図である。

[図5]温度測定装置の構成を示す図である。

[図6]温度測定装置の腕部をボートに挿入した状態を示す図である。

[図7]基準熱モデルを校正して校正熱モデルを生成する手順を説明するためのフローチャートである。

[図8]基準熱モデルを校正して校正熱モデルを生成する手順を説明するためのフローチャートである。

[図9]セットアップレシピによる各設定温度における、基準熱モデルによる予想温度と実測温度とを対応付けて記憶する様子を示す図である。

[図10]基準熱モデルを補正する方法を説明するための図である。

符号の説明

- [0021] 1 熱処理装置
- 11 処理容器
- 15 下端部
- 21 蓋体
- 24 回転テーブル
- 26 ポート
- 31 周面ヒータ
- 31a メインヒータ
- 31b 上端サブヒータ
- 31c 下端サブヒータ
- 32 上面ヒータ
- 33 下面ヒータ
- 100 制御部
- S1～S5 温度センサ
- TC1～TC5 熱電対(温度センサ)

発明を実施するための最良の形態

- [0022] 本発明のバッチ式熱処理装置を縦型熱処理装置に適用した実施の形態について説明する。

本実施の形態に係る縦型の熱処理装置1は、図1に示すように、処理容器(反応管)11を備える。処理容器11は、被処理体を成すウエハWを収容して、所定の熱処理、例えば、CVD処理を施すためのものであり、耐熱性および耐食性を有する材料例えば石英ガラスにより形成されている。処理容器11は、上端と下端が開放された単管構造を有し、上端は細径に絞られて、排気部12を形成する。排気部12は、図示せぬ排気管などを介して真空ポンプ等に接続されている。

- [0023] 処理容器11の下部には、処理容器11内に処理ガスや不活性ガスを導入するガス導入部(導入ポート)13が配置されている。ガス導入部13には、ガス源に通じる一又は複数のガス供給系の配管14が挿通される。ガス導入部13から導入された処理ガ

スは、処理容器11内を上昇してウエハWの所定の熱処理に供された後、排気部12から排気される。

- [0024] 処理容器11のフランジ状に形成された下端部15は、ステンレス等の耐熱性および耐食性を有する材料から形成された蓋体21により開閉される。蓋体21は、図示せぬエレベータにより昇降し、上昇した位置で、処理容器11の下端部15を密閉し、下降した位置で、処理容器11の下端部15を開放する。処理容器11の下端部15と蓋体21との間には、気密を確保するためのリング22が配置されている。
- [0025] 蓋体21の中央部には、回転支柱23が回転可能に立設され、回転支柱23の上端には、回転テーブル24が固定されている。また、蓋体21の下部には、回転支柱23を回転駆動する駆動部25が設けられている。
- [0026] 回転テーブル24の上には、例えば、60枚の半導体ウエハWを高さ方向に所定間隔で搭載可能な石英ガラス製のボート(ウエハボート)26が載置される。ボート26は、蓋体21が降下した状態で回転テーブル24上に載置され、蓋体21が上昇して処理容器11の下端部15を密閉すると、処理容器11内へのロードが完了し、処理完了後、蓋体21が降下することによりアンロードされる。また、プロセス中は、駆動部25による回転テーブル24の回転により回転し、ウエハWに均一な熱処理が施される。
- [0027] 処理容器11の周囲には、処理容器11内に収容されたウエハWを周縁部から加熱昇温させるための周面ヒータ31が配置されている。周面ヒータ31は、例えば棒状の抵抗発熱体から構成され、垂直状態で処理容器11の周囲を取り囲むように筒状に配設されている。周面ヒータ31は、処理容器11の周囲全体を加熱するメインヒータ31aと、処理容器11の上端側および下端側の周囲を加熱する上端サブヒータ31bと下端サブヒータ31c、から構成される。メインヒータ31aとサブヒータ31b、31cは、処理容器11の周方向に交互に配置されている。
- [0028] 処理容器11の上下には、上面ヒータ32と下面ヒータ33とが設けられている。
- [0029] 上面ヒータ32は、処理容器11の排気側の放熱によるウエハ温度の低下を防ぐためのものであり、排気部12の周囲にドーナツ状に形成され、支持部材34により支持体35に固定されている。
- [0030] また、下面ヒータ33は、蓋体21等を介した放熱によるウエハ温度の低下を防止す

るためのものであり、処理容器11内の回転テーブル24の下に位置するように、支持部材34により蓋体21上に固定されている。下面ヒータ33は、その中央部を回転支柱23が貫通するようにドーナツ状に形成されている。

[0031] 処理容器11の外周面には、垂直方向に一系列に3つの温度センサS1～S3が配置されている。温度センサS1はポート26の上部に対応する位置に、温度センサS2はポート26の中央部に対応する位置に、温度センサS3はポート26の下部に対応する位置に、それぞれ配置されている。

[0032] また、処理容器11内の上面ヒータ32とポート26の上端面との間の位置に温度センサS4が配置され、処理容器11内の下面ヒータ33と回転テーブル24との間の位置に、温度センサS5が配置されている。温度センサS4とS5とは、金属汚染を防止するため、例えば、石英チューブに収納されている。

[0033] 温度センサS1～S5の出力(検出温度)は、後述するように、ポート26に配置されたウエハWと上面ヒータ32および下面ヒータ33の表面温度を予想(推定;予測)するために使用される。

[0034] 熱処理装置1は、装置全体の制御を行う制御部100を備えている。

[0035] 図2に示すように、制御部100には、温度センサS1～S5、操作パネル121、圧力計(群)122、ヒータコントローラ123、マスフローコントローラ124、弁開閉制御部125、真空ポンプ126等が接続されている。

[0036] 温度センサS1～S5は、前述のように、処理容器11の外壁面の温度と上面ヒータ32及び下面ヒータ33近傍の温度を測定して、制御部100に通知する。

操作パネル121は、表示画面と操作ボタンとを備え、オペレータの操作指示を制御部100に伝え、また、制御部100からの様々な情報を表示画面に表示する。

圧力計(群)122は、処理容器11内及び排気部12内の各部の圧力を測定し、測定値を制御部100に通知する。

[0037] ヒータコントローラ123は、ヒータ31a、31b、31c、32、33を個別に制御するためのものであり、制御部100からの指示に応答して、ヒータ31a、31b、31c、32、33に通電してこれらを加熱し、また、各ヒータ31a、31b、31c、32、33の消費電力を個別に測定して、制御部100に通知する。

- [0038] マスフローコントローラ124は、各配管に配置され、各配管を流れるガスの流量を制御部100から指示された量に制御すると共に実際に流れたガスの流量を測定して、制御部100に通知する。
- [0039] 弁開閉制御部125は、各配管に配置され、各配管に配置された弁の開度を制御部100から指示された値に制御する。真空ポンプ126は、処理容器11の排気部12に排気パイプ等を介して接続され、処理容器11内を排気する。
- [0040] 制御部100は、図2に示すように、熱モデル記憶部111と、レシピ記憶部112と、ROM113と、RAM114と、I/Oポート115と、CPU116と、これらを相互に接続するバス117とから構成される。
- [0041] 熱モデル記憶部111には、図3(a)に示すように、この熱処理装置1と同一仕様の基準装置を用いて作成された基準熱モデルM1と、基準熱モデルM1をこの熱処理装置1用に校正(カスタマイズ)して生成された校正熱モデルM2とが記憶される。この熱処理装置1の製造当初は、基準熱モデルM1のみが熱モデル記憶部111に記憶され、熱処理装置1のセットアップ処理により校正熱モデルM2が格納される。
- [0042] 基準熱モデルM1と校正熱モデルM2は、共に、温度センサS1～S5の出力信号(測定温度)及びヒータ31a～33への供給電力(ヒータ31a～33に接続されたヒータコントローラ123からの供給電力量を示す指示値)等から処理容器11内の温度を予想するためのモデル(数学モデル;高次・多次元行列)である。ただし、基準熱モデルM1は、基準装置を用いて生成されたものであり、同一仕様の複数の熱処理装置1に共通のものである。一方、校正熱モデルM2は、各熱処理装置1のセットアップ時に基準熱モデルM1を、個々の装置の熱特性を正確に反映するように校正して生成され、実際の運用(プロセス処理)に使用される。
- [0043] より詳細には、基準熱モデルM1は、温度センサS1～S5の出力信号(測定温度)及びヒータ31a～33への供給電力等から、ボート26の上部に載置されているウエハ(ボート上部ウエハ)Wの中心部P1および周縁部P2の温度と、ボート26の中央部に載置されているウエハ(ボート中央部ウエハ)Wの中心部P3の温度と、ボート26の下部に載置されているウエハ(ボート下部ウエハ)Wの中心部P4および周縁部P5の温度(計5箇所の温度)と、上面ヒータ32および下面ヒータ33の表面温度と、温度セン

サS4とS5の温度と、を予想する。なお、ボート中央部ウエハWについて周縁部の温度を測定しないのは、ボート26の中央部は熱的に最も安定した領域であり、ウエハWの中心部P3と周縁部との温度差がほとんど生じないため、中心部P3の温度でボート中央部ウエハW全体の温度を代表できるからである。

- [0044] また、基準熱モデルM1は、予想した各ウエハ温度から、そのウエハ温度をレシピで規定される温度(目標値)にするために各ヒータ31a~33に供給すべき電力を求める。なお、この熱モデルを生成する手法自体は、例えば、米国特許US5, 517, 594明細書に開示されている手法を利用できる。
- [0045] また、校正熱モデルM2は、この熱処理装置1に固有の熱特性に従って正確に各部の温度を推定できるようにカスタマイズされたものである点以外は、基準熱モデルM1と同一構造である。
- [0046] レシピ記憶部112には、図3(b)に示すように、セットアップレシピR1と1又は複数のプロセスレシピR2とが記憶されている。
- [0047] この熱処理装置1の製造当初は、セットアップレシピR1のみが格納される。セットアップレシピR1は、熱処理装置1の基準熱モデルM1を校正する際に実行されるものであり、図4に示すように、時間に対して上述の5箇所P1~P5の温度を階段状に昇温することを規定する。
 一方、プロセスレシピR2は、ユーザが行う熱処理(プロセス)毎に用意されるレシピである。
- [0048] 図2に示すROM113は、EEPROM、フラッシュメモリ、ハードディスクなどから構成され、CPU116の動作プログラム等を記憶する記録媒体である。RAM114は、CPU116のワークエリアなどとして機能する。
- [0049] I/Oポート115は、前述の温度センサS1~S5、操作パネル121、圧力計122、ヒータコントローラ123、マスフローコントローラ124、弁開閉制御部125に接続され、データや信号の入出力を制御する。
- [0050] バス117は、各部の間で情報を伝達する。
- [0051] CPU(Central Processing Unit)116は、制御部100の中枢を構成し、ROM113に記憶された制御プログラムを実行し、操作パネル121からの指示に従って、レシピ記

憶部112に記憶されているレシピに沿って、熱処理装置1の動作を制御する。

- [0052] 次に、熱処理装置1のセットアップ動作で使用する温度測定装置51について説明する。

この温度測定装置51は、図5に示すように、支柱52と、支柱52から水平方向に伸びる第1、第2および第3の腕53, 54, 55とを備える。第1～第3の腕53, 54, 55は、図6に示すように、ボート26の上部スロット、中央部スロット、下部スロットに側方から挿入可能な位置に配置されている。さらに、第1～第3の腕53～55には、熱電対(温度センサ)TC1～TC5が配置されている。

- [0053] 第1の腕53には、ボート26に挿入された際に、ボート26の上部スロットのウエハWの中央部P1とエッジ部P2にそれぞれ対向する位置に熱電対TC1とTC2が配置されている。

- [0054] 第2の腕54には、ボート26に挿入された際に、ボート26の中央部スロットのウエハWの中央部P3に対向する位置に熱電対TC3が配置されている。

第3の腕55には、ボート26に挿入された際に、ボート26の下部スロットのウエハWの中央部P4とエッジ部P5とにそれぞれ対向する位置に熱電対TC4とTC5が配置されている。

- [0055] 熱電対TC1からTC5は、各温度モニタウエハ(ボート上部スロットウエハ、ボート中央部スロットウエハ、ボート下部スロットウエハ)Wに非接触で近接して配置され、温度測定対象ウエハWの領域P1～P5の表面温度をほぼ正確に測定可能である。これらの熱電対TCの出力信号線は、セットアップ時に制御部100のI/Oポート115に接続される。

- [0056] 次に、熱処理装置1のセットアップ動作について、図7と図8のフローチャートを参照して説明する。このセットアップ動作は、個々の熱処理装置1と基準装置との微妙な差異に基づく熱特性の差を求めて、熱モデル記憶部111に記憶されている基準熱モデルM1をこの熱処理装置1に固有の校正熱モデルM2に校正する作業である。

- [0057] まず、操作者は、蓋体21を降下させ、回転テーブル24上に、ダミーウエハWを搭載したボート26を配置する。また、温度測定装置51を側方からボート26に挿入する。次に、蓋体21を上昇して、ボート26を処理容器11内にロードする。

[0058] 続いて、操作者は、操作パネル121から、基準熱モデルM1の校正処理の開始を指示する。

この指示に応答し、制御部100(そのCPU116)は、ROM113に記憶されている校正処理用プログラムに従って動作を開始する。

[0059] まず、制御部100は、弁開閉制御部125、真空ポンプ126等を制御し、圧力計122の出力をモニタして、処理容器11内を所定圧力まで減圧する(ステップS11)。

[0060] 続いて、処理容器11内のウエハWの領域P1～P5の温度を、セットアップレシピR1に従って、第1の温度(例えば、400℃)に設定する(ステップS12)。

[0061] ウエハWの温度が安定した時点で、熱電対TC1～TC5で各温度モニタウエハWの中央及び周縁部の位置P1～P5の温度を実測する(ステップS13)。一方、基準熱モデルM1を用いて、温度モニタウエハWの中央及び周縁部の位置P1～P5の温度を予想する(ステップS14)。

次に、実測値と予想値とを対応付けてRAM114に記憶する(ステップS15)。

[0062] 次に、セットアップレシピR1で設定されている全ての温度についての処理が終了したか否かを判断する(ステップS16)。終了していない、即ち、設定していない温度が存在する場合には(ステップS16;No)、ステップS12に戻って、次の設定温度について同様の処理を繰り返す。

[0063] 一方、セットアップレシピR1で設定されている全ての温度についての処理が終了した場合には(ステップS16;Yes)、図9に示すような実測温度と予想温度との対応表がRAM114上に完成しており、処理は、ステップS18に進む。

[0064] ステップS18においては、RAM114上に形成された対応表に基づいて、熱電対TC1～TC5で実測された温度TR1～TR5と、基準熱モデルM1により予想した温度TP1～TP5とをそれぞれ比較し、ウエハWの温度の補正値を求める。

[0065] 補正値を求める手法自体は任意であるが、例えば、下記数式1に従って、補正値を求めることができる。

[数1]

補正値 i = 基準熱モデルM1による予想値 TP_i - 実測値 TR_i

i : 温度の予想エリア (P1～P5) を示す1～5の値

[0066] なお、補正值 i は、固定値でもよく、或いは、関数の形式となってもよい。例えば、予想値 TP_i －実測値 TR_i が、図9に示すようにばらついた場合には、例えば、最小二乗法を用いて、これらを代表する一次関数 $f(T)$ (T は基準熱モデル $M1$ による予想温度)を求め、これを補正值としてもよい。

[0067] 次に、基準熱モデル $M1$ を校正する(ステップ $S19$)。即ち、数式2の示す値が予想値となるように、基準熱モデル $M1$ を補正する。

[数2]

$$\text{予想温度 } i = \text{基準熱モデル } M1 \text{ で予想した温度 } i - \text{補正值 } i$$

[0068] 例えば、補正值が図10に示すような関数 $f(T)$ で表され、基準熱モデル $M1$ で予想した温度が $T0$ とすると、予想温度が $T0 - f(T0)$ となるように、基準熱モデル $M1$ を補正する。

[0069] 次に、処理容器11内の上面ヒータ32と下面ヒータ33の表面温度を正確に予想できるように、基準熱モデル $M1$ を補正する(ステップ $S20$)。この補正動作を図8を参照して説明する。

まず、処理容器11内の温度を所定の一定値 T_{cons} に維持するように制御し、系が安定するのを待つ。次に、更新前の基準熱モデル $M1$ を用いて、温度センサ $S4$ と $S5$ の温度を予想する。また、温度センサ $S4$ と $S5$ の測定値を求める(ステップ $S21$)。

[0070] 次に、温度センサ $S4$ と $S5$ の温度の予想値と実測値とを比較し、補正值を数式1と同様にして求める(ステップ $S22$)。

[0071] 次に、上面ヒータ32については、ヒータコントローラ123を含めたシステムモデルより、上面ヒータ32の表面温度の変化量 ΔT_t とセンサ $S1 \sim S5$ の温度の変化量 $\Delta Ts1 \sim \Delta Ts5$ との相関関係を求める(ステップ $S23$)。

即ち、数式4を成立させる行列 K_t (数式3)を求める。

[数3]

$$K_t = [K_{t1} \quad K_{t2} \quad K_{t3} \quad K_{t4} \quad K_{t5}]$$

[数4]

$$\Delta T_t = \begin{bmatrix} K_{t1} & K_{t2} & K_{t3} & K_{t4} & K_{t5} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta T_{s1} \\ \Delta T_{s2} \\ \Delta T_{s3} \\ \Delta T_{s4} \\ \Delta T_{s5} \end{bmatrix}$$

[0072] 次に、下面ヒータ33については、ヒータコントローラ123を含めたシステムモデルより、下面ヒータ33の表面温度の変化量 ΔT_b とセンサS1～S5の温度の変化量 $\Delta T_{s1} \sim \Delta T_{s5}$ との相関関係を求める(ステップS23)。

即ち、数式6を成立させる行列 K_b (数式5)を求める。

[数5]

$$K_b = \begin{bmatrix} K_{b1} & K_{b2} & K_{b3} & K_{b4} & K_{b5} \end{bmatrix}$$

[数6]

$$\Delta T_b = \begin{bmatrix} K_{b1} & K_{b2} & K_{b3} & K_{b4} & K_{b5} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta T_{s1} \\ \Delta T_{s2} \\ \Delta T_{s3} \\ \Delta T_{s4} \\ \Delta T_{s5} \end{bmatrix}$$

[0073] 次に、この相関関係を、基準熱モデルM1の上面ヒータ32の温度を予想する部分と下面ヒータ33の温度を予想する部分とに適用し、数式7と数式8で示すように、基準熱モデルM1を校正する(ステップS24)。

[数7]

上面ヒータ32の温度=基準熱モデルM1により予想した温度+

$$\begin{array}{r}
 \left[\begin{array}{c} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{array} \right] \\
 [Kt1 \ Kt2 \ Kt3 \ Kt4 \ Kt5] \cdot \left[\begin{array}{c} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{array} \right] \\
 \text{温度センサS4の予想温度} - \text{温度センサS4の測定温度} \\
 0
 \end{array}$$

[数8]

下面ヒータ33の温度=基準熱モデルM1により予想した温度+

$$\begin{array}{r}
 \left[\begin{array}{c} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{array} \right] \\
 [Kb1 \ Kb2 \ Kb3 \ Kb4 \ Kb5] \cdot \left[\begin{array}{c} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{array} \right] \\
 \text{温度センサS5の予想温度} - \text{温度センサS5の測定温度} \\
 0
 \end{array}$$

[0074] 以上で、基準熱モデルM1をこの装置用に校正(カスタマイズ)する処理が終了する。ロードされたポート26等は、アンロードされる。

[0075] カスタマイズされた基準熱モデルM1、即ち、校正熱モデルM2は、熱モデル記憶部111に記憶され(ステップS25)、以後の、ウエハWの位置P1～P5の温度及び上面ヒータ32及び下面ヒータ33の表面温度の予想に使用される。

[0076] セットアップされた熱処理装置1により、プロセスを行う場合には、実行するプロセスに応じたプロセスレシピR2がレシピ記憶部112に格納される。続いて、校正熱モデルM2を用いて、ウエハW及び上面・下面ヒータ32, 33の温度を予想しながら、プロセスを進める。このとき、校正熱モデルM2は、この熱処理装置1用に校正されたものである。正確にウエハWやヒータ32, 33の温度を予想することができる。また、プロセスの結果が許容範囲以下のレベルになった場合には、その原因が熱によるものであるか、他の要因によるものであるかを容易に識別することができる。

[0077] なお、この発明は、上記実施の形態に限定されず、種々の変形及び応用が可能である。例えば、上面ヒータ32及び下面ヒータ33の温度を、例えば、放射温度計等を使用して測定し、基準熱モデルM1による予想値と放射温度計による実測値とに基

づいて、補正値を求め、この補正値から予想温度を補正するようにしてもよい。

- [0078] さらに、温度予想用の温度センサの数や配置位置は、適宜変更可能であり、数は5つに限定されず、配置位置は、処理容器11の内壁に配置する等してもよい。
- [0079] また、この発明を適用する熱処理装置1も、上記実施の形態のものに限定されず、任意に変更可能であり、例えば、処理容器11が例えば二重管構造であったり、ポート26に収容できる半導体ウェハWの数がより大容量(例えば、約100枚から150枚)であったり、さらには、より小容量(例えば、15～30枚)であつてもよい。
- [0080] また、上記実施の形態では、CVD装置を例にこの発明を説明したが、処理の種類は任意であり、この発明は、CVD装置に限らず、酸化装置、エッチング装置、等の様々なバッチ式熱処理装置に適用可能である。
- [0081] また、機器構成や動作も上記実施の形態に限定されない。例えば、上記実施の形態では、側面ヒータの数を3つ、内部ヒータの数を2つとしたが、ヒータの数や配置は任意である。また、ヒータは、電気抵抗型のものに限定されず、ランプなどでもよい。また、ウェハ等の温度を測定するための構成も熱電対に限定されず、任意の温度センサを適用可能である。
- [0082] また、熱モデルやその設計手法も、米国特許5, 517, 594号公報に開示されたモデルやその設計手法に限定されるものではなく、任意のモデル及び任意の設計手法を採用可能である。
- [0083] なお、上述の校正処理を行うためのコンピュータプログラムの少なくとも一部をCD-ROMやDVD-ROMなどのコンピュータ読み取り可能な記録媒体に格納して配布し、I/Oポート115を介してRAM114に転送し、転送したプログラムをCPU116で実行することにより、上述の校正処理を実行するようにしてもよい。また、プログラムをネットワークを介してI/Oポート115に転送するようにしてもよい。

請求の範囲

- [1] 被処理体を収容する処理容器と複数のヒータと複数の温度センサとを備え、前記温度センサの出力から前記処理容器内の被処理体の温度を推定するための熱モデルを記憶し、前記温度センサの出力から、該熱モデルを用いて、前記処理容器内の被処理体の温度を予想し、予想した温度に基づいて前記ヒータを制御することにより、前記被処理体に熱処理を施す熱処理装置の校正方法であって、
- 前記ヒータを駆動して、前記処理容器内を加熱する工程と、
- 前記処理容器内の前記被処理体の温度を測定する工程と、
- 測定した前記処理容器内の温度と、前記熱モデルを用いて予想した前記被処理体の温度とを比較し、実測値に予想値が実質的に一致するように前記熱モデルを校正する工程と、
- を備えることを特徴とする熱処理装置の校正方法。
- [2] 前記処理容器は、複数の被処理体を収容可能であり、
- 前記温度測定工程は、前記被処理体に隣接する温度センサを配置する工程と、
- 配置した温度センサにより前記被処理体の温度を測定する工程を含む、
- ことを特徴とする請求項1に記載の熱処理装置の校正方法。
- [3] 前記校正工程は、測定した温度と予想した温度とに基づいて、前記予想値の補正値を求め、予想値を前記補正値により補正するように前記熱モデルを校正する、ことを特徴とする請求項1又は2に記載の熱処理装置の校正方法。
- [4] 前記加熱工程は、前記ヒータを駆動して、前記処理容器内を複数の設定温度に順次設定し、
- 前記温度測定工程は、各設定温度での前記処理容器内の温度を測定し、
- 被処理体の温度を予想する工程は、各設定温度での前記処理容器内の温度を予想し、
- 前記校正工程は、測定した複数の温度と予想した複数の温度とに基づいて、前記予想値の補正値を求め、前記熱モデルの予想値を前記補正値により補正するように前記熱モデルを校正する、
- ことを特徴とする請求項1又は2に記載の熱処理装置の校正方法。

- [5] 前記熱モデルは、前記ヒータの温度と各温度センサの温度を予想する機能を備え、

前記校正工程は、前記ヒータの温度の変化量と前記温度センサの測定温度の変化量との関係と、前記ヒータに最も近接する温度センサの熱モデルによる予想温度と該温度センサの実測温度との差と、に基づいて補正値を求め、予想値を補正値に基づいて補正するように前記熱モデルを校正する、

ことを特徴とする請求項1乃至4のいずれか1項に記載の熱処理装置の校正方法。

- [6] 前記処理容器内には内部ヒータが配置されており、

前記熱モデルは、前記内部ヒータの温度を予想する機能を備え、

前記校正工程は、前記内部ヒータの温度の変化量と前記温度センサの測定温度の変化量との関係と、前記内部ヒータに最も近接する温度センサの熱モデルによる予想温度と該温度センサの実測温度との差と、に基づいて補正値を求め、予想値を補正値に基づいて補正するように前記熱モデルを校正する、

ことを特徴とする請求項1乃至4のいずれか1項に記載の熱処理装置の校正方法。

- [7] 前記処理容器内に収容される被処理体の上部と下部には、それぞれ、第1と第2のヒータが配置されており、

前記熱モデルは、前記第1と第2のヒータの温度を予想する機能を備え、

前記校正工程は、前記第1のヒータの温度の変化量と前記温度センサの測定温度の変化量との関係と、前記第1のヒータに最も近接する温度センサの熱モデルによる予想温度と該温度センサの実測温度との差と、に基づいて第1の補正値を求め、前記第2のヒータの温度の変化量と前記温度センサの測定温度の変化量との関係と、前記第2のヒータに最も近接する温度センサの熱モデルによる予想温度と該温度センサの実測温度との差と、に基づいて第2の補正値を求め、

前記熱モデルによる予想値を第1と第2の補正値に基づいて補正するように前記熱モデルを校正する、

ことを特徴とする請求項1乃至4のいずれか1項に記載の熱処理装置の校正方法。

- [8] 請求項1乃至7のいずれか1項に記載の熱処理装置の校正方法により校正された熱モデルを用いて処理容器内の温度を予想し、予想した温度に基づいて、被処理

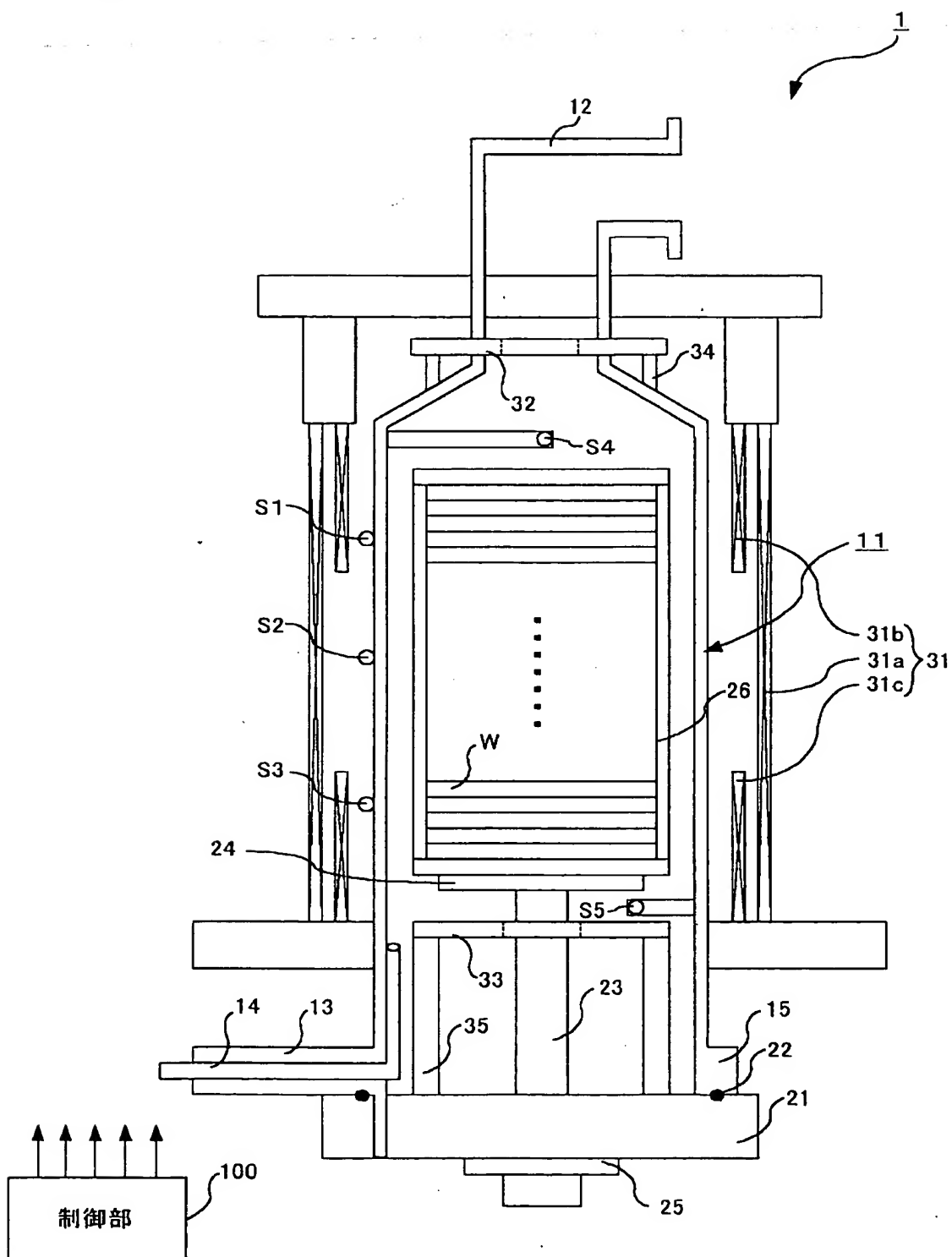
体に熱処理を施す工程をさらに備えることを特徴とする熱処理方法。

- [9] 被処理体を収容する処理容器と複数のヒータと複数の温度センサとを備え、前記温度センサの出力から前記処理容器内の被処理体の温度を推定するための熱モデルを記憶し、前記温度センサの出力から、該熱モデルを用いて、前記処理容器内の被処理体の温度を予想し、予想した温度に基づいて前記ヒータを制御することにより、前記被処理体に熱処理を施す熱処理装置であって、
- 前記ヒータを駆動して、前記処理容器内を加熱する手段と、
- 前記処理容器内の前記被処理体の温度を測定する手段と、
- 測定した前記処理容器内の温度と、前記熱モデルを用いて予想した前記被処理体の温度とを比較し、実測値に予想値が実質的に一致するように前記熱モデルを校正する手段と、
- を備えることを特徴とする熱処理装置。

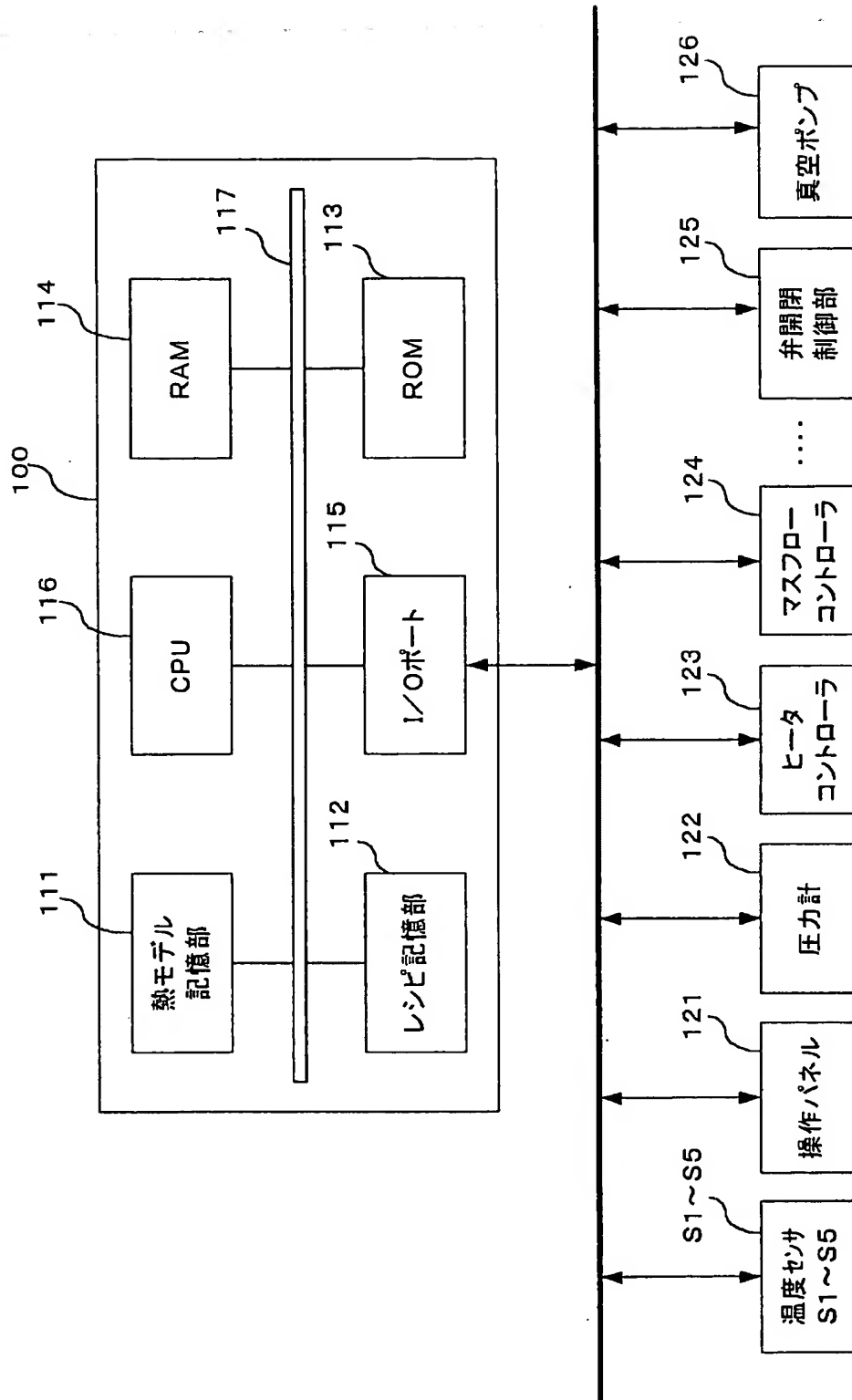
要 約 書

本発明は、熱モデルを用いて被処理体の温度を予想し、予想した温度に基づいて温度制御を行いつつ熱処理を行う熱処理装置において、正確な温度予想を可能とすることを目的としている。熱処理装置1は、複数のウェハWを収容する処理容器11と複数のヒータ31～33と複数の温度センサS1～S5とを備え、熱モデルを記憶する。熱処理装置1は、温度センサS1～S5の出力から熱モデルを用いてウェハWの温度を予想し、予想した温度に基づいてヒータ31～33を制御することにより、ウェハWに熱処理を施す。個々の装置における熱モデルは、基本装置に基づいて設計された基準熱モデルを個々の装置用に校正して生成される。処理容器11内を加熱し、処理容器11内のウェハWの温度をセンサで測定し、熱モデルを用いてウェハWの温度を予想し、実測温度と予想温度とを比較し、実測温度が予想温度に実質的に一致するように基準熱モデルが校正される。

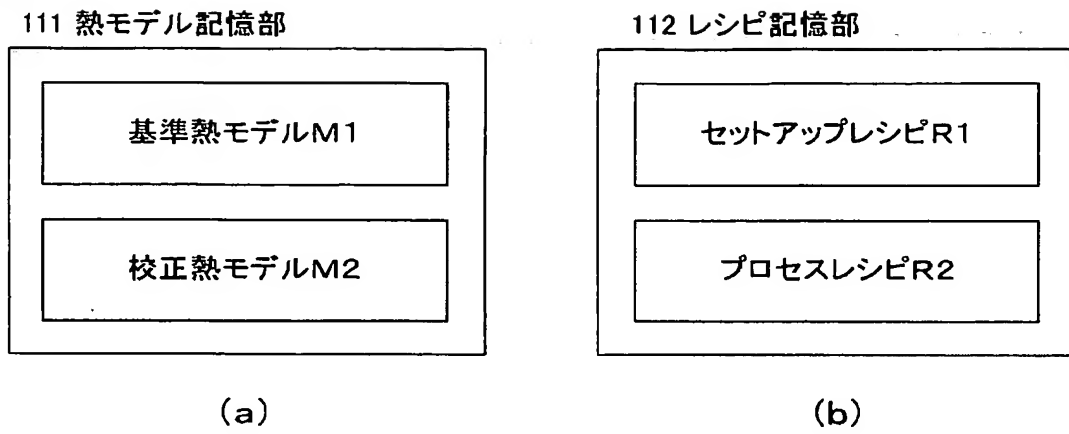
[図1]



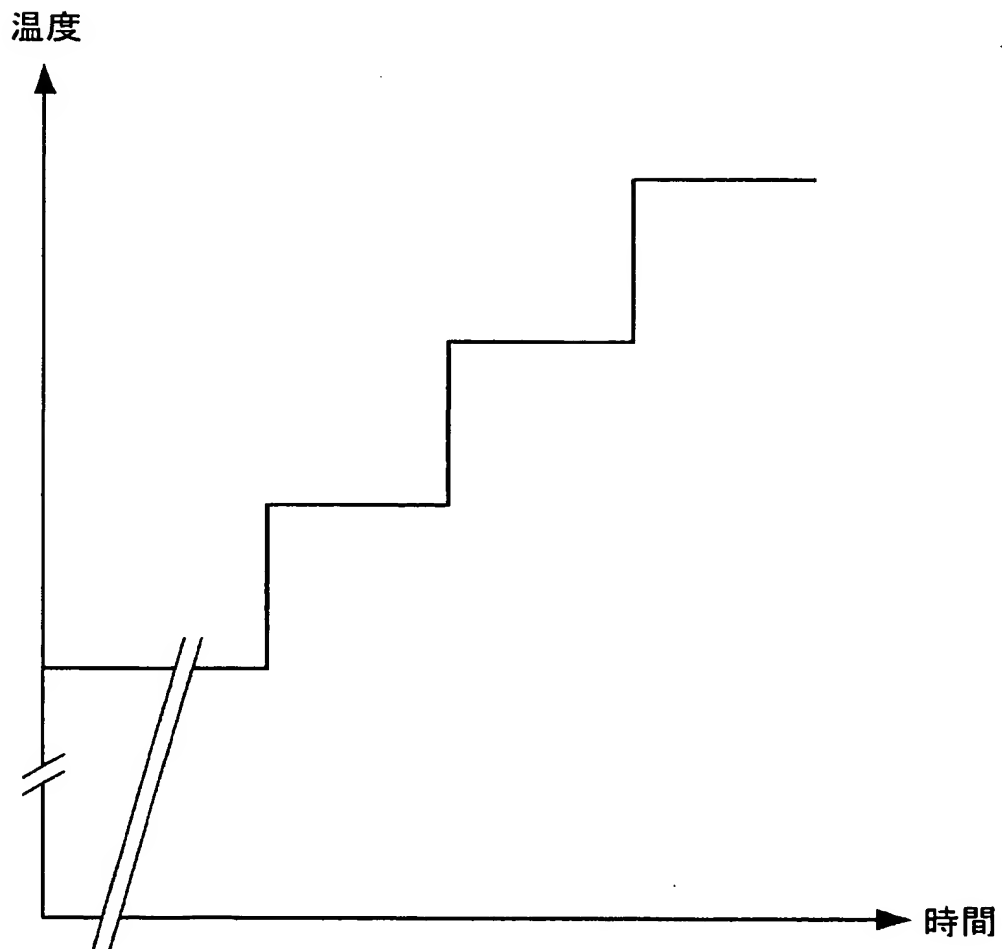
[図2]



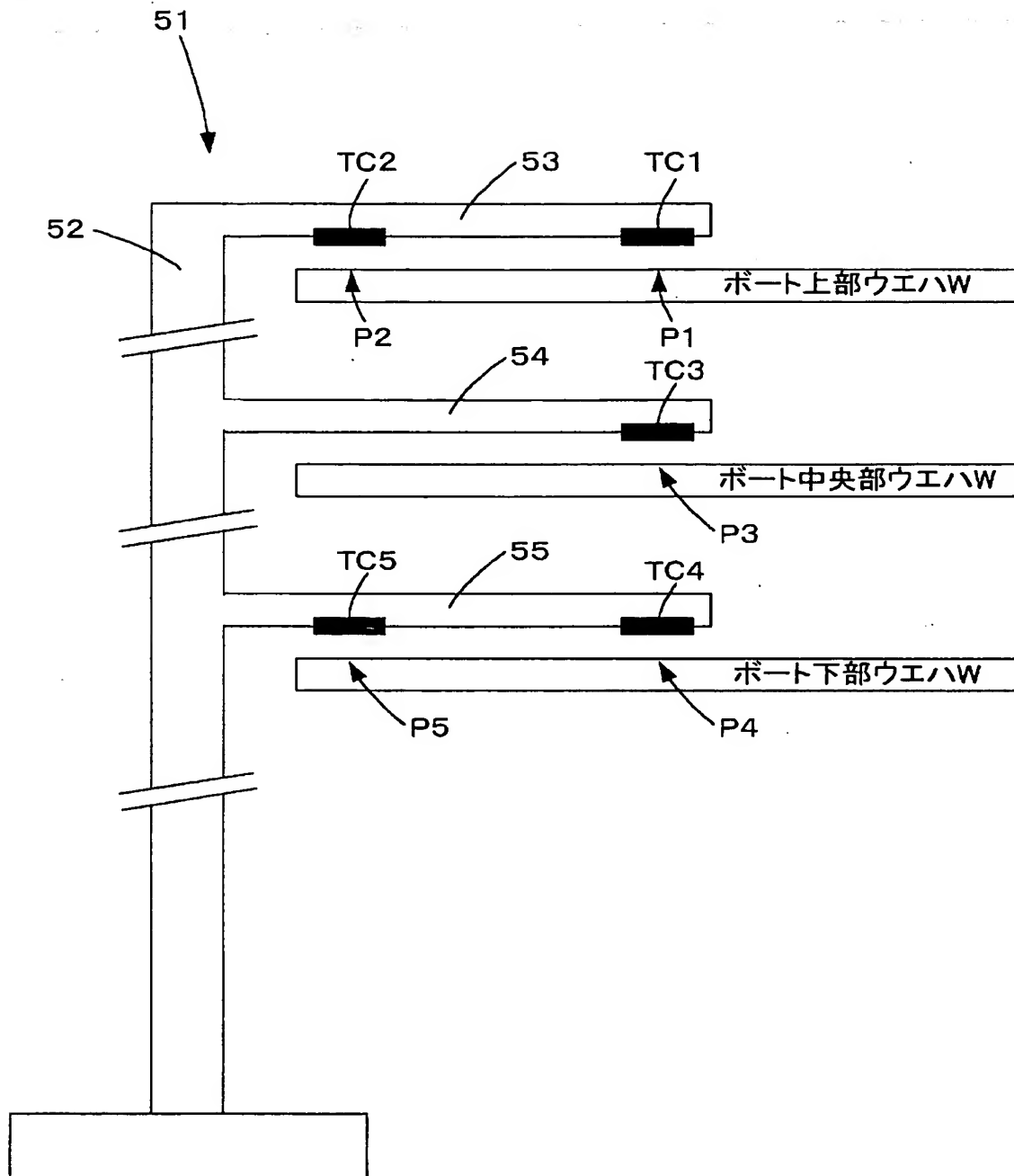
[図3]



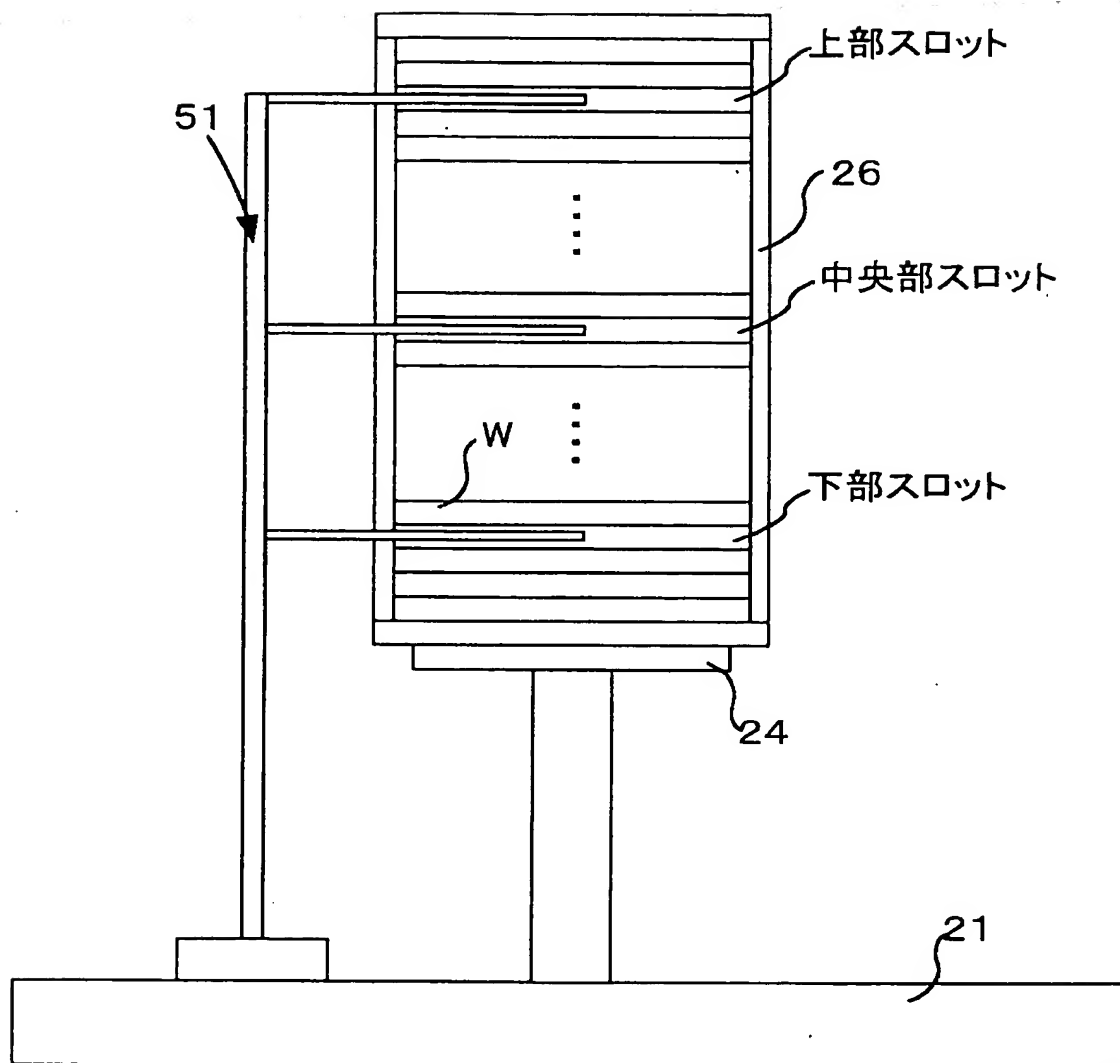
[図4]



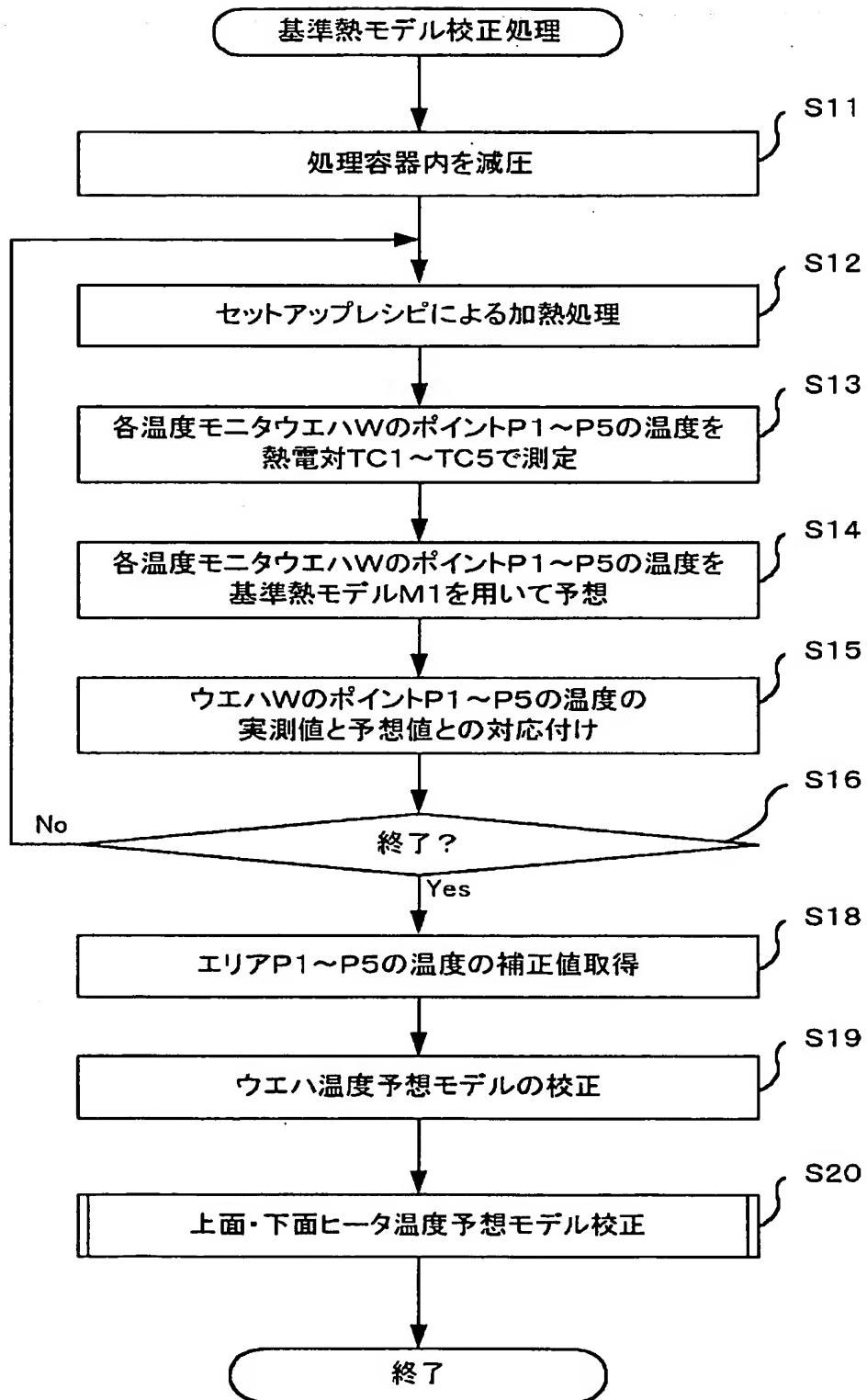
[図5]



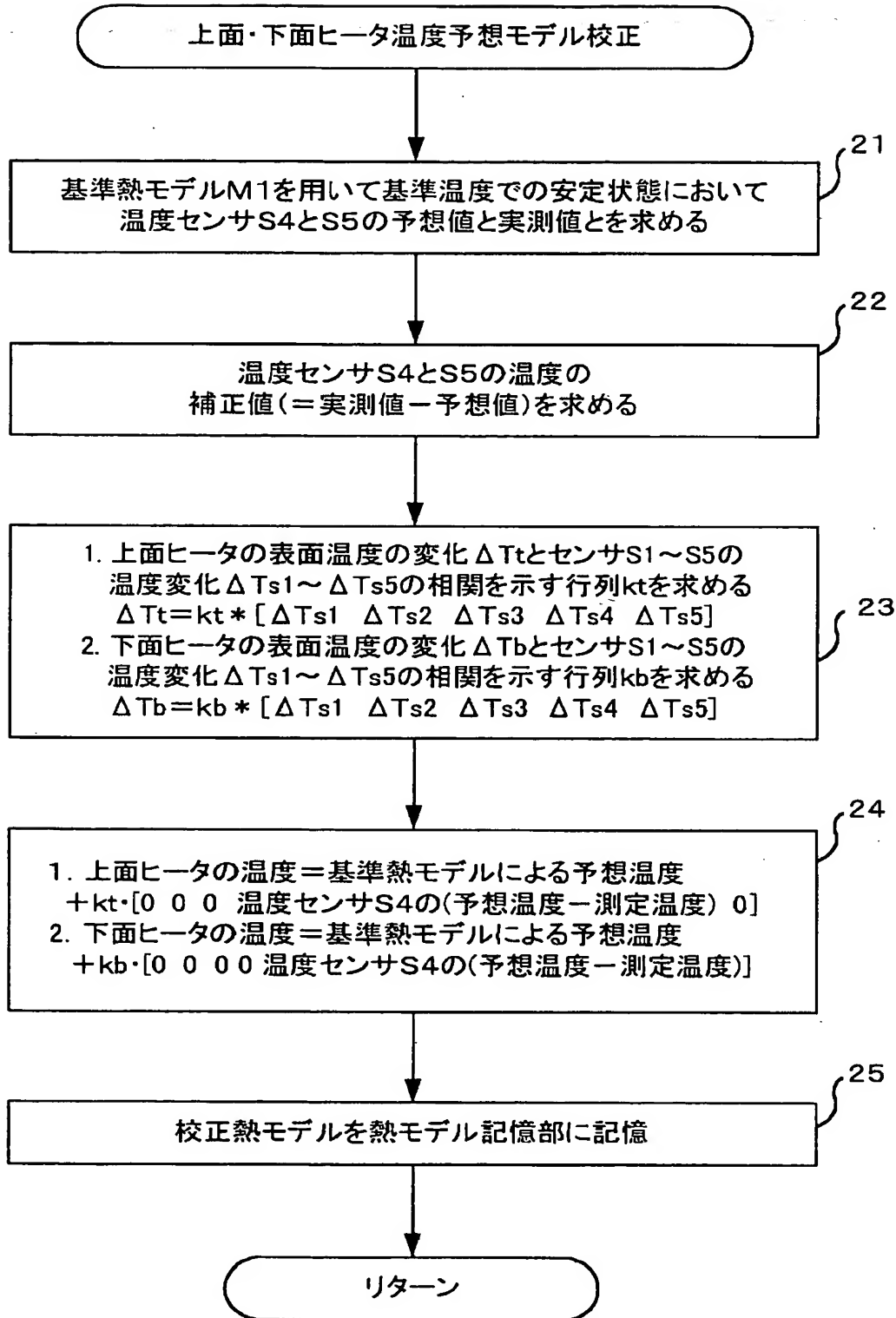
[図6]



[図7]



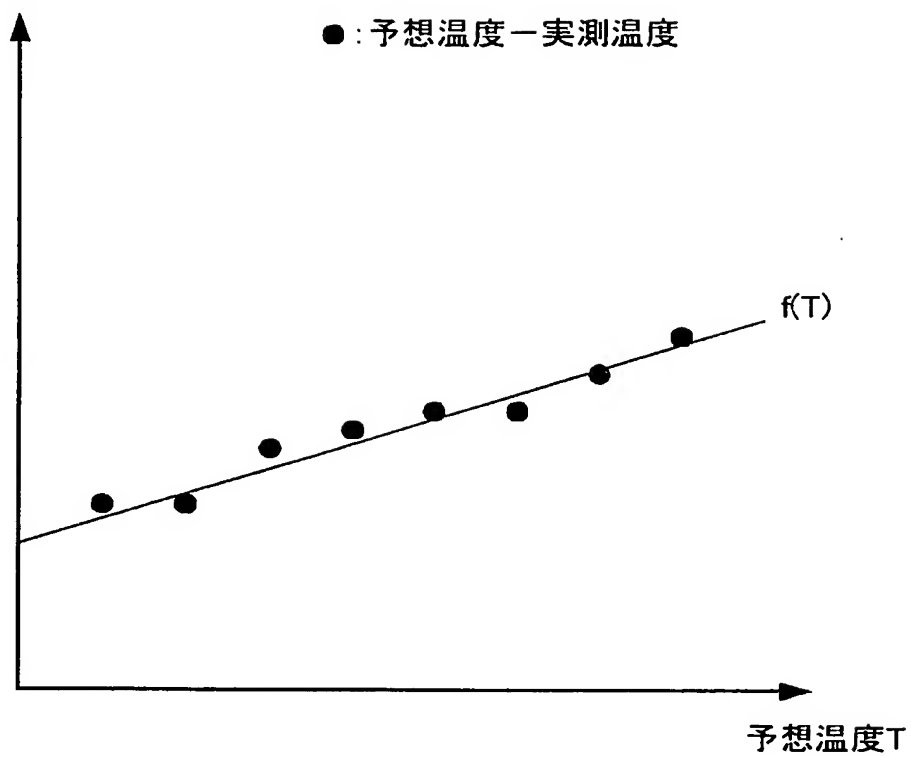
[図8]



設定(目標時)温度	実測温度					予想温度				
	TC1	TC2	TC3	TC4	TC5	TP1	TP2	TP3	TP4	TP5
500℃	490℃	480℃	490℃	490℃	480℃	500℃	500℃	500℃	500℃	500℃
600℃	587℃	570℃	590℃	590℃	585℃	600℃	600℃	600℃	600℃	600℃
.....
1100℃	1090℃	1070℃	1086℃	1090℃	1080℃	1100℃	1100℃	1100℃	1100℃	1100℃

[図10]

予想温度と実測温度の差



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.